

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství**

**Řízení pohybů mobilního robotu Bioloid**

**Control of mobile robot Bioloid movements**

2014

Jan Kotyza

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Kotyza**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 2601R004 Měřicí a řídicí technika  
Téma: **Řízení pohybů mobilního robotu Bioloid**  
**Control of Mobile Robot Bioloid Movements**

### Zásady pro vypracování:

1. Seznámení se s problematikou lidské chůze, anatomii, fyziologií a dynamikou chůze, technologiemi motion-captura a jejich implementací pro modelování a realizaci modelů chůze u mechatronických systémů.
2. Sestavení soustavy robotické postavy pomocí komponent stavebnice Robotis - Bioloid, seznámení se s programovými prostředky a provedení naprogramování robotu s cílem udržet jej ve vzpřímené poloze, navrácení robotu do vzpřímené polohy po "havarii" a pro jednoduché pohybové úlohy.
3. Provedení analýzy pohybů pro herní aplikaci fotbalu robotů a naprogramování robotu tak, aby realizoval dílčí pohyby a jejich autonomní seskupení.
4. Zhodnocení výsledků řešení a experimentů.

### Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ROBOTIS. *Bioloid - user guide*. Robotis, 2006.
- [2] KITAGAWA, Midori and Brian WINDSOR. *MoCap for artists*. Boston: Elsevier/Focal Press, c2008, xiii, 216 p. ISBN 0240810007.
- [3] VUKOBRATOVIČ, M., B. BOROVIĆ, D. SURLA and D. STOKIĆ. *Biped Locomotion*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1990. EAN 978-3642830082.
- [4] CHEN, Xiaoping, Peter STONE, Luis E. SUCAR, eds. *RoboCup 2012. Robot Soccer World Cup XVI*. Berlin: Springer Verlag, 2013. ISBN 978-3-642-39249-8.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Bohumil Horák, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014



doc. Ing. Jiří Koziořek, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Datum: 6. 5. 2019

Podpis: 

## **Abstrakt**

Cílem práce je seznámení se s problematikou lidské chůze, anatomií, fyziologií a dynamikou chůze, technologiemi motion-capture a jejich implementací pro modelování a realizaci modelů chůze u mechatronických systémů. Následně sestavení soustavy robotické postavy pomocí komponent stavebnice Robotis - Bioloid, seznámení se s programovými prostředky a provedení naprogramování robotu s cílem udržet jej ve vzpřímené poloze, navrácení robotu do vzpřímené polohy po "havárii" a pro jednoduché pohybové úlohy. Poté bude provedena analýza pohybů pro herní aplikaci fotbalu robotů a naprogramování robotu tak, aby realizoval dílčí pohyby a jejich autonomní seskupení.

## **Klíčová slova**

Bioloid, Kráčejíci robot, Zachycení pohybu

## **Abstract**

The goal of the bachelor's thesis is to become familiar with the problems of human gait, anatomy, physiology and dynamics of walking, motion-capture technologies and their implementations for modelling and implementing models of walking in mechatronic systems. The thesis subsequently deals with building a robotic system using the components of Robotis – Bioloid kit, and programming the robot in order to keep it in an upright position, restoration of the robot to its upright position after the "accident" and programming the robot for simple motion tasks. Subsequently the analysis of the movements of the robot will be conducted in compliance with soccer game applications and the robot will be programmed so that it implements partial movements and their autonomous groupings.

## **Keyword**

Bioloid, Biped, Motion captured

## Seznam použitých symbolů a zkratk

AUX	AUXiliary
DK	dolní končetina
FIRA	Federation of International Robot-soccer Association
LED	light emitting diode
MoCap	motion capture
Např.	například
PM	permanently magnetized motor
Pozn.	poznámka
R.U.R	Rozumoví Univerzální Roboti
RXD	receive data
TXD	transmit data
USA	United states of america

## Použité jednotky

název jednotky	veličina	jednotka
bit per second	přenosová rychlost	[Bps]
hertz	frekvence	[Hz]
metr za sekundu	rychlost	[m.s <sup>-1</sup> ]
miliampérhodina	elektrický náboj	[mA.h]
newton metr	krouticí moment	[N.m]
sekunda	čas	[s]
stupeň	úhel natočení	[°]
volt	elektrické napětí	[V]
watthodina	elektrická energie	[W.h]

## Obsah

Úvod.....	3
1.1 Historie dvounohých robotů.....	3
1.2 Roboti jako fotbalisté .....	6
2. Pohyb.....	6
2.1 Anatomie .....	6
2.1.1 Pletenec .....	6
2.1.2 Kostra volné dolní končetiny .....	6
2.1.3 Noha .....	7
2.2 Fyziologie.....	7
2.2.1 Svaly kyčelního kloubu.....	7
2.2.2 stehenní svaly .....	7
2.2.3 Bérce svaly .....	7
2.2.4 Svaly nohy .....	7
2.3 Dynamika chůze .....	7
2.4 Těžiště lidského těla.....	7
2.5 První pohyb, chůze.....	8
2.6 Pohyb stroje.....	8
3. Pohyb a zachycení pohybu .....	8
4. Systém Motion Capture.....	9
4.1 Druhy Motion capture .....	9
4.1.1 Optický systém.....	10
4.1.2 Magnetický systém.....	10
4.1.3 Mechanický systém .....	10
4.2 Přípravy systému .....	11
5. Robot.....	12
5.1 Kráčející robot.....	13
5.1.1 Výhody kráčejících robotů .....	13
5.1.2 Nevýhody kráčejících robotů .....	14
5.2 Realizace kráčejících robotů .....	14
6. Srovnání dostupných chodících robotů .....	14

6.1	Zhodnocení.....	15
7.	Bioid.....	15
7.1	Obsah stavebnice Bioid Comprehensive Robot Kit.....	16
7.2	Dynamixel AX-12.....	17
7.2.1	Servomechanismus.....	17
7.3	Řídící jednotka CM-5.....	19
8.	Software .....	20
8.1	Motion editor.....	20
8.2	Behavior control programmer .....	22
8.3	Robot terminál.....	22
8.3.1	Postup vytváření programu pro pohyb .....	23
9.	Herní aplikace fotbal robotů.....	24
9.1	Chůze vpřed .....	24
9.2	Výkop míče .....	26
9.3	Zvednutí robota po pádu na záda .....	26
9.4	Úkrok na stranu .....	27
9.5	Seskupení pohybů .....	27
	Závěr .....	28
	Seznam použité literatury.....	29
	Seznam příloh: .....	31

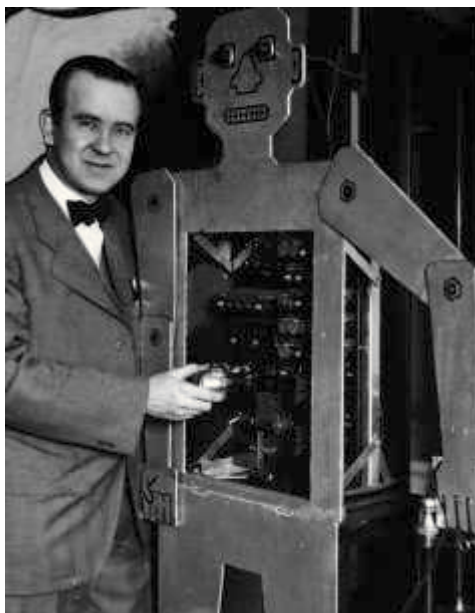
## Úvod

V práci proběhne seznámení se s problematikou lidské chůze, anatomii, fyziologií a dynamikou chůze, technologiemi motion-capture a jejich implementací pro modelování a realizaci modelů chůze u mechatronických systémů. Bude provedena analýza dostupných robotů na trhu. Následně proběhne sestavení soustavy robotické postavy pomocí komponent stavebnice Robotis – Bioloid. Seznámení se s programovými prostředky a provedení naprogramování robotu s cílem udržet jej ve vzpřímené poloze, navrácení robotu do vzpřímené polohy po "havárii" a pro jednoduché pohybové úlohy. Poté bude provedena analýza pohybů pro herní aplikaci fotbalu robotů a vytvoření autonomního seskupení pro herní aplikaci.

### 1.1 Historie dvounohých robotů

Poprvé použil slovo ROBOT Karel Čapek ve svém díle R.U.R - Rozumoví Univerzální Roboti v roce 1920, kde uvažuje nad propojením člověka s technikou. Slovo robot mu poradil bratr Josef Čapek. Vychází ze slovanského slovesa robotovat.

V roce 1927 představila firma Westinghouse Electric and Manufacturing robota Televox schopného zvednout telefonní sluchátko a vydat prvních pár zvuků (Obrázek 1). Společnost představila i další roboty, ale asi nejúspěšnější z nich byl Elektro the Moto-Man postavený v roce 1937/38. Byl schopen provést 26 rutinních pohybů a měl slovní zásobu 700 slov. Věty byly skládány pomocí přehrávačů řízených řadou relé.(5)



**Obrázek 1** Robot televox(5)

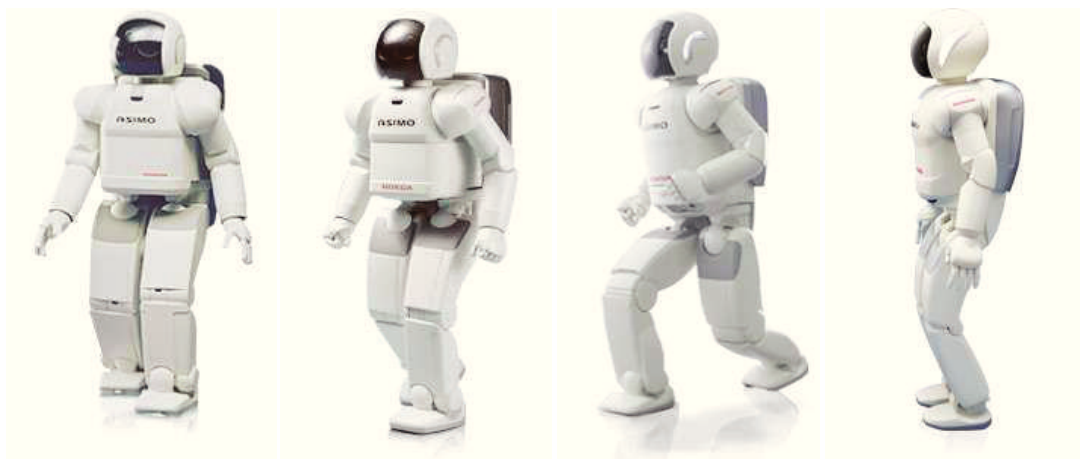
Průlom v historii chůze robotů přišel v roce 1966, kdy vznikl první počítačem řízený chodící stroj vytvořený Mcgee a Frank na univerzitě v Jižní Karolíně. V roce 1960 vznikl WAP-1 navržený Ichiro



Katem, považovaného za hlavního průkopníka chodících robotů. Po navržení dalších modelů byl schopen se svými stroji chodit jak po rovném povrchu, tak i po nakloněné rovině nebo chodit nahoru a dolů po schodech. V roce 1973 Kato navrhl prvního zcela antropomorfního robota na světě WABOT-1 složeného z kamerového systému, pohybového systému a systému pro komunikaci. Podle odhadu byl robot na úrovni jeden a půl ročního dítěte. V roce 1980 navrhl Kato další revoluční model a to WL-9DR, který řídil 16 bitový mikropočítač. Robot byl schopen kvazi-dynamické chůze.(6)

Výzkumný program Shigeo Hirose započal projektem Titan, který probíhal v roce 1981-85 v Mitsubishi Heavy Industries. Chodící roboty, které v tomto období postavil, byly vybaveny inteligentním řídicím systémem Pegas. Robot Titan IV byl schopen chodit až rychlostí 0,40m/s.(7)

V roce 1985 General Robotics Corp vyvinula inteligentního robota RB5X využívajícího množství senzorů nebo EPROM kazety, které svým programem robota ihned oživily. RB5X byl první masově vyráběný robot pro využití v domácnosti nebo pro osobní experimenty.(8)



**Obrázek 2** Pokrok při vývoji robota Asimo (z leva: rok 2000, 2001, 2005, 2007)(25)

Dalším dvounohým krácejícím robotem v tomto roce byl WHL-11 navržený Waseda Hitachim. Robot měl nainstalovaný počítač a hydraulické čerpadlo, díky čemuž byl schopen statické chůze na rovném povrchu, na jeden krok potřeboval 13 sekund. Tentýž rok představila Waseda university na vědeckotechnické výstavě humanoidního robota, který byl schopen zahrát Aii v G-Dur od Johanna Sebastiana Bacha. V roce 1986-1989 v USA byl postaven robot Manny, který měl plně antropomorfní postavu. Měl 42 stupňů volnosti, díky čemuž měl dokonale napodobovat lidské pohyby. V roce 1986-1996 začala vyvíjet androidy i firma Honda Motor Company v Tokiu. Při svém snažení vytvořila 7 druhů chodících strojů. Na Waseda university v roce 1995 byl představen robot Hadaly. Robot byl schopen se otočit na návštěvníka a vést s ním konverzaci v japonštině. V roce 1996 začala svůj výzkum také tokijská universita svým modelem Saiko. Stroj měl být za nízkou cenu, lehký a co nejblíže lidské velikosti. Obsahoval dva stupně volnosti na krku, pět pro paže, trup a hlavu.

Následujícím typem H5, který měl šest stupňů volnosti pro nohy a ruce, vybaven Wireless LAN a průmyslové PC v trupu.

Asi nejrevolučnějším humanoidním robotem byl Asimo(Advanced Step in Innovative Mobility) model P2 a P3. Navržený firmou Honda v Japonsku 1996. Asimo byl zatím nejpodobnější lidské předloze. Poslední model je P3 zveřejněný v roce 2007. Je vysoký 130 cm, váží 54 kg a je schopen chůze, běhu, stoupat a klesat po schodech, komunikovat a rozpoznávat řeč.(9) Jednotlivé verze robotu Asimo od roku 2000 do roku 2007 jsou znázorněny na obrázku (Obrázek 2).

Následujícího roku začal vývoj robotu TORO (Torque controlled humanoid Robot) v Německém středisku pro letectví a kosmonautiku. Ze začátku vznikly pouze dolní končetiny. Dnes už robot je člověku podobnější, má trup hlavu i ruce na flexibilních kloubech se zabudovanými senzory.(10)

V roce 2013 společnost Boston dynamics představila nejnovějšího humanoidního robotu pro organizaci DARPA, spadající pod ministerstvo obrany USA se jménem ATLAS. Robot je navržen do náročného terénu. Pohony jsou realizovány pomocí hydrauliky. Je vybaven 28 stupni volnosti v rukou, nohou, v hlavě a v trupu. Na rukou je vybaven stereo kamerami a laserovými dálkoměry.(11)

Nejnovějším krokem v robotice bylo poslání KIBO Robotu do vesmíru (Obrázek 3). Na palubě HTV-4 (Kounotori 4) se dostal robot postavený v Tokijské univerzitě ve spolupráci Toyota Motor Corporation na mezinárodní stanici, kde má za úkol rozvíjet vztahy mezi lidmi a stroji.(12)



**Obrázek 3** Robot KIBO (12)

## 1.2 Roboti jako fotbalisté

RoboCup založený v roce 1997 je projekt, který vznikl v Číně za účelem vytvořit robotickou platformu, která by byla schopna překonávat problémy v reálném světě. Dalším důležitým podnětem byl nástup výkonných procesorů mající velký potenciál využitelný pro výzkum. RoboCup sloužil svým způsobem jako motivace pro veřejnost. Postupně byla vytvořena a je rozvíjena, aby v dohledné budoucnosti byla schopná konkurovat pohybovým a strategickým vlastnostem člověka při fotbalovém zápase. Zatím jsou roboti schopni pouze rovnocenného zápasu mezi sebou.(13) Samotný zápas probíhá na hrací ploše 9x6m. V poli jsou tři nebo čtyři hráči Podle aktuálních pravidel. Jeden je brankář a zbytek se chová podle zvolené taktiky. Lze zvolit taktiku, aby dva roboti útočili na protihráče a snažili se dát gól a třetí byl v obraně, nebo všichni tři jdou do útoku. V RoboCupu jsou soutěžní týmy rozděleny do třech týmů, a to děti, dorost a dospělí. Jako hráči jsou využity různé typy robotů, které jsou technicky vylepšeny o pevnější díly, speciální ruce schopny uchopit míč a vhodit jej do hřiště, lokty pro snadnější zvedání se ze země a kamerové systémy pro kontrolu a mapování hrací plochy.(15)

Významnou organizací je FIRA, mezinárodní federace robotického fotbalu. Vznikla v Koreji roku 1995 mezinárodním šampionátem v KAIST. Tato událost je uznávaná soutěž ve velkém množství vyspělých států. Na zmíněné události se ročně sjíždí desítky vysokých škol z celého světa, aby změřily své dovednosti v programování a vývoji robotických fotbalistů v celosvětovém měřítku.(14)

## 2. Pohyb

Pro věrohodnost pohybů je možné se inspirovat lidským tělem.

### 2.1 Anatomie

Anatomie je pro nás důležitá, protože popisuje mechanickou stavbu dolních končetin. Díky tomu je lépe vidět souvislosti při pohybu dvounohého krácejícího robotu. Při konstrukci robotu jsou jednotlivé kosti nahrazeny mechanickými prvky. Lidská noha se skládá z 26 kostí, 107 vazů a 19 svalů. Dolní končetinu lze rozdělit na pletenec dolní končetiny, díky kterému je spojena s trupem a kostru volné dolní končetiny. (26)

#### 2.1.1 Pletenec

Je tvořen jedinou kostí, která vznikla ze tří kostí, které srostly k sobě.

- sedací kost
- kyčelní kost
- stydká kost

#### 2.1.2 Kostra volné dolní končetiny

- kost stehenní
- česka
- kost holenní
- kost lýtková

### 2.1.3 Noha

Část končetiny, která přichází do styku s podlahou, také zodpovídá za stabilitu celého těla při pohybu.

- zánártní kost
- nártní kost
- články prstů

## 2.2 Fyziologie

Svaly na dolních končetinách jsou rozdílné, a každý má svou ojedinělou funkci. V technické praxi je lze nahrazovat servomechanizmy.

### 2.2.1 Svaly kyčelního kloubu

- hýžďový sval – zanožení, podílí se na chůzi

### 2.2.2 stehenní svaly

- přední skupina – natahovač kolenního kloubu, ohybač kyčelního kloubu (čtyřhlavý sval stehení)
- vnitřní skupina – přinožení, přitahují DK, addukce stehna a DK
- zadní skupina – ohybač bérce, zanožení v kyčelním kloubu

### 2.2.3 Bércové svaly

- přední skupina – napínání nohy a prstů (holenní sval přední)
- zadní skupina – ohýbají prsty, udržují podélnou klenbu nožní, stoj na špičkách, chůze (trojhlavý sval lýtkový)

### 2.2.4 Svaly nohy

Udržují podélnou klenbu nožní.

- skupina palcová
- skupina malíková
- hluboké svaly nohy

Rozdělení svalstva dolních končetin je převzato z (27)

## 2.3 Dynamika chůze

Jakýkoli pohyb, jehož cílem je změna polohy, je prováděn s určitou dynamikou. Můžeme to pozorovat při chůzi. Chceme-li jít pomalu, dynamika pohybu je nízká, naopak při běhu dynamika roste. Dynamikou získáváme rychlost pohybu a jeho sílu.

## 2.4 Těžiště lidského těla

Na každý segment těla působí tíhová síla stejně jako na kterýkoliv hmotný bod. Součtem všech sil působících na tělo získáme výslednou tíhovou sílu s působištem v těžišti těla. Chceme-li zpracovávat úlohy týkající se pohybových aktivit, je vhodné redukovat pohyb těla na pohyb hmotného

bodu. Například zjišťujeme-li rychlost běžce nebo výšku výskoku gymnasty, tak se výsledné hodnoty vztahují k těžišti těla, nikoli k jeho libovolným částem. Proto je vhodné chápat lidské tělo pro jisté případy pouze jako hmotný bod. V základním anatomickém postavení se nachází v malé pánvi ve výšce druhého a třetího křížového obratle. Při změně polohy jednotlivých segmentů se s přesunutím hmotnosti části těla mění jeho těžiště. Při některých polohách může těžiště ležet i mimo tělo. (18)

## **2.5 První pohyb, chůze**

Chůze je nejstarším typem pohybu. Zapojuje se při ní množství svalů, jenž jsou přesně synchronizovány. Chůze je střídavý cyklický pohyb dolních končetin s pohybem horních končetin. Jednotkou chůze je jeden krok. Ten se dá rozdělit do dvou fází:

- Stojná – začíná, když pata dosedne na podložku a končí při odlepení posledního prstu od podložky
- Švihová – Končetina se ohýbá v kyčli a koleni

Probíhá-li na jedné končetině fáze stojná, na druhé probíhá fáze švihová. Tyto dvě fáze se neustále střídají. (18)

## **2.6 Pohyb stroje**

Díky velkému množství serv a veličin, které je možné vyčíst nazpět, jsou zajištěny nejlepší předpoklady ke splnění úkolu. Pro dolní končetiny je k dispozici 12 stupňů volnosti, takže pro každou nohu je k dispozici 6 serv.

2x kotník (dopředu /dozadu, doleva/ doprava)

1x koleno (dopředu /dozadu)

3x kyčel (dopředu /dozadu, doleva /doprava, otáčení)

## **3. Pohyb a zachycení pohybu**

Chceme-li rozpohybovat objekt na počítači po dané křivce, postačí nám jednoduchý animační program. Ale ve chvíli, kdy budeme chtít vytvořit reálný pohyb, který bude vypadat jako lidský, tak jednoduché animační programy přestávají dostačovat. Hlavní problém je ve složitosti lidských pohybů. Člověk má nepřeberné množství svalů, které každý pohyb činí jedinečným.

Proto jestli má být pohyb přenesen do počítače, je vhodné využít prostředek, kterému se říká motion capture – záznam pohybu.

## **4. Systém Motion Capture**

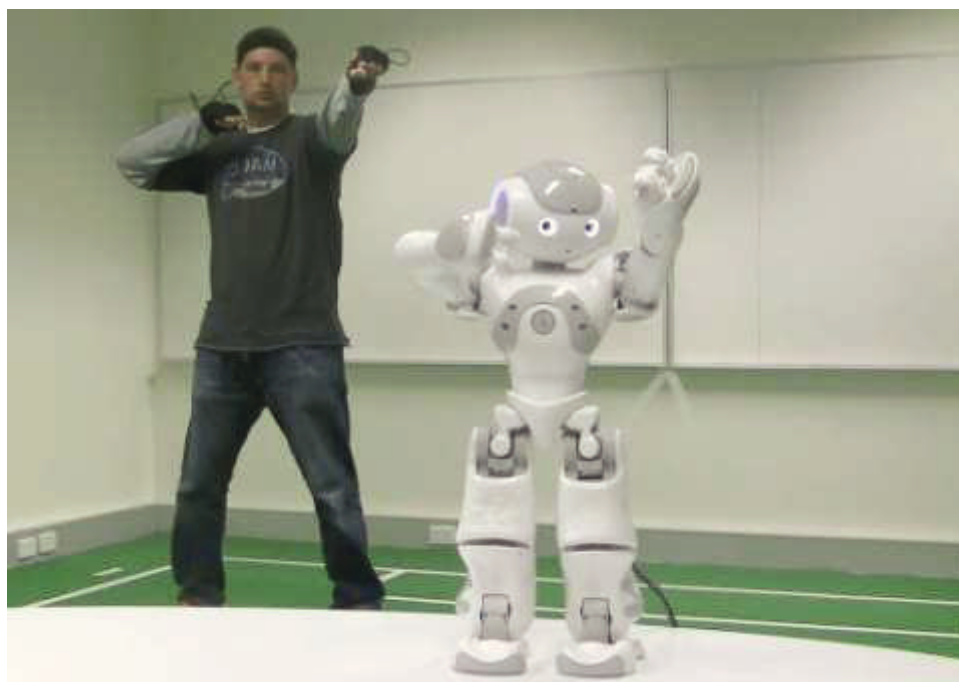
Motion capture systém slouží k převedení reálného pohybu do digitální podoby. Zkráceně se také nazývá mocap. Mocap pomocí speciálních kamer nasnímá pohyb. Poté pomocí řady programů je možné vytvořit animace nasnímaného pohybu. Technologii mocap, tak jak ji známe dnes, předcházely dlouhý vývoj různých metod, zachycujících obraz, například: chronofotografie, stroboskopie nebo rotoskopie.

S dnes používanou verzí přišel Steve Paul Jobs, jeden ze zakladatelů firmy Apple a taky jeden z vedoucích filmového studia Pixar. S touto technologií Steve Jobs vytvořil animované filmy s postavami, které mají pohyby velmi podobné lidským. Prvními filmy, kde mocap použil, byl Příběh hraček, Život brouka nebo Příšerky s.r.o.

Praktické využití technologie mocap dnes nachází jak ve filmovém průmyslu, tak při studiu medicíny, pro pochopení lidského těla, při rehabilitaci po zranění nebo pro pohled do lidského těla při pohybu. Dalším širokým využitím je sport. Pomocí mocap lze snadno analyzovat prováděný pohyb a je poté možno pracovat na zvýšení efektivity prováděného pohybu. Ergonomie je věda zabývající se optimalizací lidské činnosti, pomocí mocap například lze analyzovat pohyb dělníka a zamezit nežádoucím účinkům stereotypního pohybu.

### **4.1 Druhy Motion capture**

Informace o pohybu herce lze získávat několika druhy mocap systému. Každý má své výhody a nevýhody, ze kterých vyplývá vhodnost využití na danou aplikaci. Obrázek 4 uvádí možnou aplikaci mocap systému pro řízení humanoidního robotu Nao za využití množství senzorů připevněných na herce. Ze senzorů jsou informace synchronizovány programem v robotu, který vykonává správné pohybové úkony.



**Obrázek 4** Řízení robotu technologií MoCap (20)

#### **4.1.1 Optický systém**

Nejběžněji používaný systém. Prvotní využití bylo určeno pro medicínu. Herec má na sobě připevněny značky kruhového tvaru a různé velikosti, aby bylo možné je připevnit na obličej pro snímání jemné mimiky (maximálně 200 značek). Připevňují se suchým zipem na celotělový oblek. Jsou buď pasivní - jsou vyrobeny z reflexního materiálu, nebo aktivní - jsou osazeny LED diodou. Značky jsou snímány speciálními kamerami, které jsou umístěny kolem herce, kamer bývá 4-32 podle rozlohy scény. Aby bylo možné určit 3D polohu, je nutné, aby terč byl současně na minimálně dvou kamerách. Kamery jsou připojeny do PC s vyhodnocovacím softwarem. Touto metodou lze dosáhnout 30-2000 snímků za sekundu.(16)

#### **4.1.2 Magnetický systém**

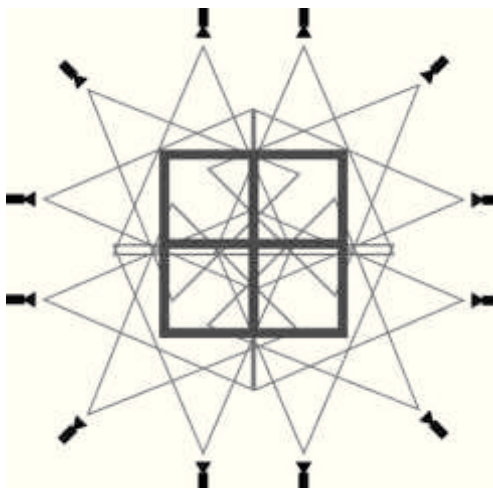
Prvotně určený pro piloty bojových letadel k určování polohy hlavy pilota. Na herce je umístěno 12 až 20 senzorů, každý se skládá ze tří na sebe kolmých cívek, kterými prochází elektrický proud a vytváří tak pole. Pole je měřeno a vyhodnocováno k zjištění polohy. Systém je náchylný na elektromagnetické rušení, které způsobuje nepřesnosti. S tímto systémem lze získat 144-240 vzorků za vteřinu.(16)

#### **4.1.3 Mechanický systém**

Je mechanický exo-skelet. Obsahuje rovné tyče a klouby, na kterých jsou umístěny potenciometry. Díky tomu je mechanický systém plně real-timový. Velkou nevýhodou je to, že není možné určit, zda herec stoupá po schodech nebo nadskočil. Hodnoty potenciometrů nedávají takovou informaci, ze které by bylo zřejmé, která situace nastala. Proto je často spojován dohromady s magnetickým systémem. Další nevýhoda vycházející z konstrukce je velmi obtížné získávání dat v polohách vleže, protože mechanická část je křehká a podobné polohy mohou být bolestivé. (16)

## 4.2 Přípravy systému

Před samotným modelováním pohybu je nutné si zvolit metodu mocap. Popis bude aplikován na optickou metodu. Pro využití optické metody musíme mít prostor, na kterém bude konstrukce (stativy) s uchycenými vysokorychlostními kamerami. Nejvhodnější rozmístění je vidět na obrázku níže Obrázek 5. (16)



**Obrázek 5** Vhodné rozmístění kamer (16)

Dalším krokem by mělo být vypracování seznamů pohybů, které se budou zachycovat a posléze digitalizovat. Podle něj se umístí na herce reflexní značky. Značky musí být umístěny, aby nedocházelo ke změně polohy při pohybu, a přesto kamery jasně zachytily celý pohyb. Proto je velice důležité znát anatomii a vědět, na které místo lze nejlépe upevnit značku, aby byla co nejbližší kosti a nedocházelo k pohybu značky svaem.(16) Podíváme-li se na Obrázek 7, kinematický model antropoida, lze snadno určit polohu jednotlivých reflexních značek. Po správném umístění značek lze nasnímat pohyb herce pomocí kamer do PC.

První takzvaná kalibrační pozice herce by měla být pozice T. Herec by se měl postavit snožmo, s roztáženými rukama od těla a pokud možno co nejvíce rovně. Po nasnímání dat je nutné data zkontrolovat, zda jsou všechny značky správně nasnímány, jestli se pohybují části, které se pohybovat mají. Při chybějících datech lze dopočítat data programem, tyto výsledky bývají většinou použitelné, ale je nutné je kontrolovat. Selže-li program, je zde možnost data vložit a pokusit se pohyb vyladit ručně. Popřípadě chybnou část znovu nasnímat. Může se také stát, že při snímání došlo ke špatnému odrazu od značky nebo se špatně zaznamenala a v datech vznikly špičky v podobě velké odchylky nebo nesmyslné hodnoty. Tato data je vhodné odstranit buď za pomoci programu nebo ručně. Dalším zásahem do nasnímaných dat by mělo být odstranění všech dat, které způsobují nepřesnosti. Například je-li herec v klidu, víme, že data by se neměla měnit, proto všechna data, která se mění, je dobré odstranit. Tyto měnící se data jsou většinou způsobena třesem herce.(16)

Dalším krokem je k nasnímaným datům vytvořit 3D návrh kostry, ke které se bude přiřazovat nasnímaný pohyb. Kostra se vytvoří v poloze T a porovná se s T pozicí herce. Přizpůsobí se velikost



jednotlivých segmentů kostry k celkové velikosti nasnímaných dat. Poté lze spojit nasnímaná data s kostrou.(16)

## 5. Robot

Robotů je velké množství a lze je dělit do mnoha kategorií. Obrázek 6.

Roboty mobilní – stroje schopné se pohybovat bez vnějšího mechanického zásahu.

Roboty stacionární – manipulátory a výrobní stroje pevně ukotvené k základně.

Roboty létající – stroje schopné létat.

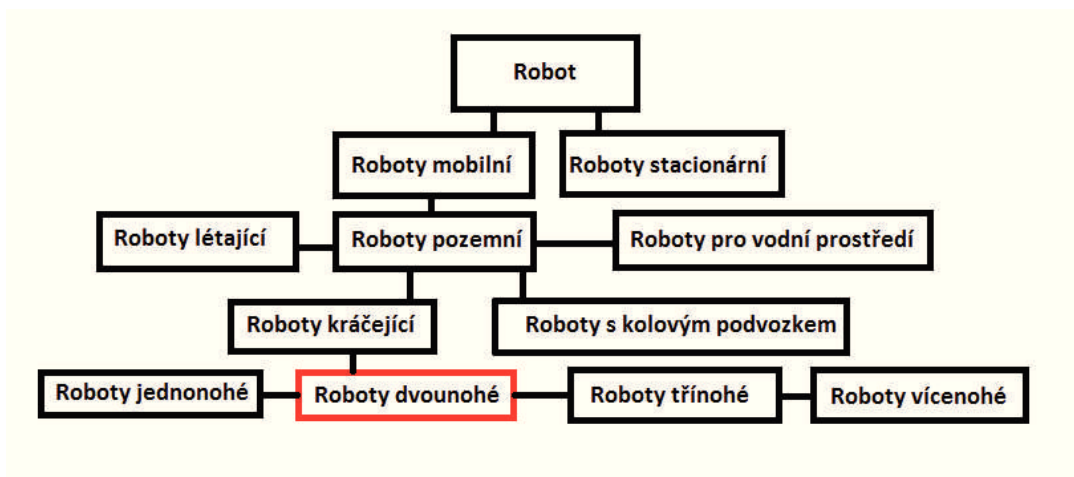
Roboty pozemní – stroje pohybující se po pevné zemi – nejrozšířenější kategorie.

Roboty pro vodní prostředí – stroje pohybující se po hladině nebo pod hladinou vody.

Roboty kráčející – stroje pohybující se pomocí „nohou“.

Roboty s kolovým podvozkem – stroje pohybující se na kolovém podvozku, velice rozšířená kategorie obsahující množství různých variací.

Tato práce se bude zabývat jednou jedinou kategorií a to kráčejícími roboty. Tu lze dělit do dalších kategorií podle množství nohou. Pro tuto úlohu jsou zvoleny dvounohé kráčející roboty.



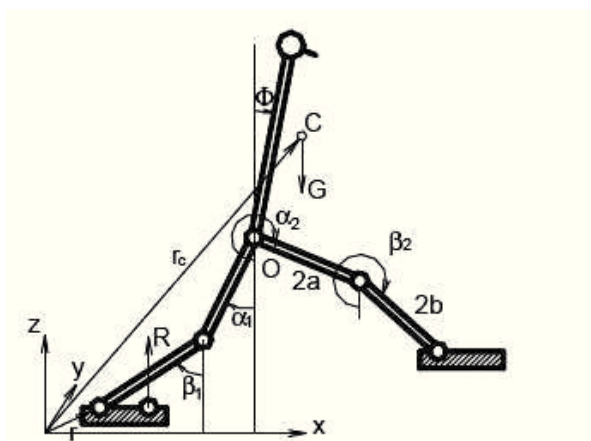
Obrázek 6 Rozdělení robotů

## 5.1 Kráčejší robot

Konstrukce dvounohých kráčejších mechanismů většinou vychází z anatomie člověka. Odtud vychází rovněž kinematická stavba nohy – koleno – kyčel – kotník, tedy kombinace několika rotačních kinematických dvojic. Schéma lidské kostry, která slouží v tomto případě jako model. Důkazem jsou různé konstrukce humanoidních (androidních) robotů.(18)

Tyto kráčejší mechanismy jsou samozřejmě staticky nestabilní, ale mohou se pohybovat dynamicky stabilní chůzí. Výrazně se pak projevují dynamické účinky pohybu jednotlivých částí robotů (členů kinematického řetězce) a je potřeba znát jejich polohu, rychlost, popřípadě zrychlení v každém časovém okamžiku. Je to nezbytné z důvodu udržení stability a zabránění převržení kráčejšího robotu. Abychom získali veškeré informace o poloze, rychlosti (zrychlení), částí robotu, je potřeba velký počet vnitřních senzorů. Je nezbytné rychlé zpracování dat z těchto senzorů a rychlá reakce pohonů, zvláště při větších rychlostech chůze. Tento fakt klade vysoké nároky na řídicí systém, neboť pohony musí vyvinout konečně velikou hnací sílu (kroučící moment), což je důležité při návrhu dimenzování pohonů.(18)

Návrh robotu vychází většinou z kinematického modelu dle Obrázek 7 dvounohý antropoid. Nejvýhodnější bývá umístování pohonu přímo místo kloubů nebo co nejbližší (SAICO). Obvyklý počet aktivních stupňů volnosti je 5 až 12.(18)



Obrázek 7 Kinematický model antropoida (18)

### 5.1.1 Výhody kráčejších robotů

- mohou překračovat relativně vysoké překážky.
- mohou se pohybovat po schodech (nahoru i dolů)
- mohou překračovat prohlubně a příkopy, pohybovat se po extrémně členitém povrchu, zdolávat příkré svahy (o pevném podloží)
- mohou se hladce pohybovat po značně nerovném povrchu pomocí nastavitelné výšky těla nad povrchem terénu a to změnou natažení (vysunutí, zvednutí) nohy a vyrovnávat tak vlnitost povrchu
- Nohy se méně zabořují do povrchu a způsobují menší poškození podloží, než kolové nebo pásové podvozky

### 5.1.2 Nevýhody kráčejších robotů

- vyšší počet nezávisle řízených stupňů volnosti
- vyšší počet akčních členů (pohonů, převodů, senzorů, atd.)
- složitější řídicí systém z hlediska HW i SW
- nutnost dodávat energii po dávkách do různých míst – nutnost rozjezdu a brzdění pohybujících se hmot (oscilující soustava)
- malá energetická účinnost (podrobněji v kapitole Konstrukce nohou)
- konstrukční složitost
- výrobní náročnost
- složitost oživování
- případná nejistota 100% plnění funkce

## 5.2 Realizace kráčejších robotů


Pro realizaci robotů jsou nutné mechanické díly, které slouží jako kostra robotu a zajišťují mechanickou pevnost a odolnost. Mohou být vyrobeny z tvrzeného plastu, hliníkových profilů nebo jiného kovu, podle požadované pevnosti. Důležité je vědět, jestli robot bude sloužit pouze jako vědecký projekt nebo má být nasazen do terénu a tomu konstrukci přizpůsobit.




Srdcem robotu je řídicí jednotka, podle konkrétní aplikace to může být 8 bitový mikropočítač nebo nejmodernější průmyslový počítač s vysokým výkonem a určený do nejděsivějšího prostředí. K jednotce jsou připojeny takzvané aktuatory, které mohou být pneumatické, hydraulické nebo elektrické. Další nedílnou součástí robotu jsou senzory, které nahrazují smysly.

## 6. Srovnání dostupných chodících robotů

Byly vyhledány nejznámější dodavatelé robotů dodávající humanoidní typy. Tabulka 1 obsahuje pouze čtyři vybrané typy. Dané roboty lze najít i v dalších možných sestavách lišících se výdrží baterie, barevným provedením nebo koncovým využitím. V tabulce níže je uvedena pouze část srovnání. Zbývající modely jsou v celé tabulce uvedené v přílohách.

**Tabulka 1** Porovnání chodících robotů

Název Robotu	Obrázek	Řídicí jednotka	pohon	senzory	napájení	Cena[Kč]
Bioid Beginer [10]		CM-5 Atmega 128 – 8bit MCU	DYNAMIXEL AX-12A : 4EA	DYNAMIXEL AX-S1	NIMH 9.6V baterie SMPS 12V 5A	6 865,90,-

LEGO MindStorms NXT 2.0 [11]		NXT (32bit MCU)	Interaktivní servomotor	ultrazvuk, zvuk, IR, dotyk, kompas, akcelerometr, RF ID	6 x AA baterie	9 074,-
Bioid Comprehensiv e [10]		CM-5 Atmega 128 – 8bit MCU	DYNAMIXEL AX-12A : 18EA	DYNAMIXEL AX-S1	NIMH 9.6V baterie SMPS 12V 5A	17 686,-
Aldebaran Robotics Nao H25 Humanoid Robot Academic Edition [12]		Intel ATOM 1,6 GHz CPU – V hlavě(Linux ) , Druhé CPU v hrudníku	x	2x kamera, Hmatové senzory a Sonarový Dálkoměr, čtyři mikrofony	6 Wh baterie	326 859,-

Ceny jsou uvedeny k 9. 5. 2013 podle aktuálního kurzu.

## 6.1 Zhodnocení

Podle Tabulka 1 je patrné, že robot dodávaný firmou Aldebaran Robotics je díky vysokému výpočetnímu výkonu, množství pokročilých senzorů a programového vybavení, nejvyspělejším robotem na trhu. Tento robot je určen pro výzkum umělé inteligence, je schopen se učit a rozvíjet, čemuž odpovídá i cena.

Budeme-li hledat robota, na kterém lze vyzkoušet vlastní elektroniku, získávat zkušenosti s řízením pohybu dvounohých robotů a jejich programování, určitě na řadu přijde robot od firmy Linxmotion - Biped BRAT 485 Servo. Díky své nízké pořizovací ceně je vhodný pro středoškolskou výuku nebo do hobby dílen.

Z velkého množství dostupných robotů jsme měli k dispozici Bioid Comprehensive kit. Robot Bioid má velký počet stupňů volnosti, vyhovující výpočetní výkon a dobrou cenovou dostupnost.

## 7. Bioid

Bioid Comprehensive kit od firmy Robotis je první vzdělávací robotický kit založený na chytrých sériově řízených inteligentních servomechanismech, které jsou nejen schopny přepínat mezi polohováním a plně spojitým otáčením, ale také poskytuje přístup k smyslové zpětné vazbě, jako je poloha, rychlost, teplota, odběr proudu a napětí každého serva. Bioid soupravy jsou navrženy tak, aby umožnily uživateli vytvořit více typů robotů. Kromě velkého hardware, Bioid Comprehensive

kit je dodáván výkonný software založený na GUI. Program je freeware. Bioloid Robot kits jsou ideální pro vzdělávání, koníčky, výzkum a soutěže.(1) Sestavený robot Bioloid je vidět na Obrázek 8. Další fotografie jsou k dispozici v přílohách na: Obrázek 24, Obrázek 25.



**Obrázek 8** Sestavený robot Bioloid

## **7.1 Obsah stavebnice Bioloid Comprehensive Robot Kit**

- Bioloid CM-5 MCU (Atmel ATmega128) regulátor
- 18x Dynamixel AX-12- sériově ovládané servo pohony
- 1x Dynamixel AX-S1 senzorový modul
- 1x dobíjecí NiMh akumulátor (9.6V)
- 2x programové nástroje (freeware)
- 1x přepínač Mode Power Supply
- 1x sériový kabel (9pin D-tyt)
- 1x Bioloid Comprehensive kit
- stručný návod k obsluze
- CD se softwarem

## 7.2 Dynamixel AX-12

Servo obsažené ve stavebnici je samo o sobě složeno z více částí, které jsou důležité pro správnou činnost celku. *Pole permanentně magnetizovaného motoru (PM) se tvoří mezi dvěma nebo více trvalými magnety, tolika, jako je počet pólů. Nejčastější jsou různé typy feritových magnetů. Vzhledem k tomu PM motor nemá vinutí pro tvorbu pole, pro připojení motoru stačí dva vodiče. Charakteristika PM motoru vykazuje vlastnosti, které jsou výhodné, což vedlo k tomu, že tento typ motoru se stal dominantním mezi DC motory s výkonem do 1kW.*(3)

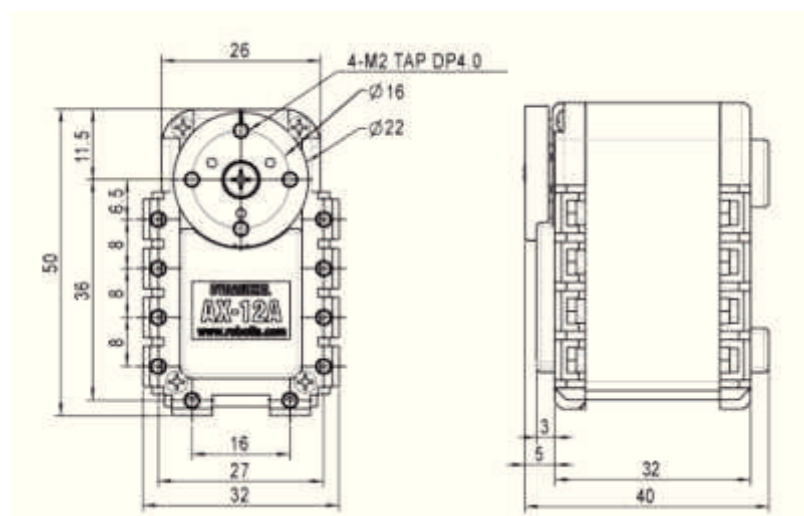
### 7.2.1 Servomechanismus

Servomechanismus obsahuje PM motor, převodovku a řídící elektroniku. *Má na vstupu tři vodiče a jejímž výstupem je osa, která se otáčí v rozsahu cca. 90° resp. 180°. Na vstupní vodiče je třeba připojit zem, +5V a řídící signál. Servo se standardně ovládá 1-2ms dlouhými pulzy s frekvencí 50Hz (pozn. většina serv reaguje v širším rozsahu od 0.5ms do 2.5ms a rozsah otáčení pak může být až 180°). Šířka pulzu přímo úměrně odpovídá natočení výstupní osy. Tedy pokud budeme generovat pulz o šířce 1.5ms, přesune se servo do střední polohy. Změnou délky pulzu pak můžeme pootočit osou doleva či doprava. Krajiním polohám natočení pak odpovídají krajní délky pulzů.*(2)

Každé servo AX-12A se od standardního serva liší tím, že obsahuje 8 bitový ATmega 8-16PU mikroprocesor, který je taktován na frekvenci 16MHz. Servo má vyvedené rozhraní UART na výstupní piny a přidělenou adresu. Jednotlivé moduly jsou schopny komunikovat až rychlostí 1MBps. Díky tomu lze serva AX12A spojovat sériově v libovolném množství. Mikroprocesor získává zpětnou vazbu o poloze serva integrovaným potenciometrem.

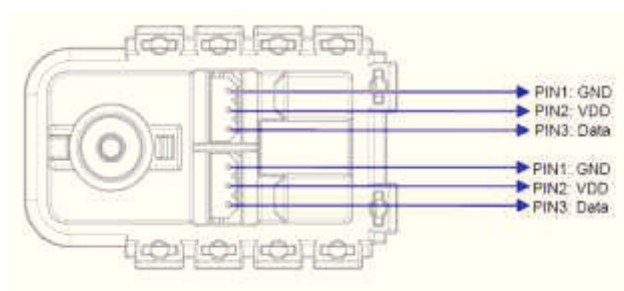
Maximální natočení serva je 300° s krokem 0,35°. Napájecí napětí lze zvolit od 7V do 10V, přičemž doporučené napětí je 9,6V pro dosažení maximálního kroutícího momentu. Mechanická část serva je z vysoce pevnostního plastu, který odolává i vysokému krouticímu momentu, jenž dosahuje až 1,5Nm .

Servo si díky mikroprocesoru dokáže hlídat rozmezí svých jmenovitých hodnot, aby nedošlo k poškození. V případě překročení nastavených hodnot se servo odpojí a spustí signalizaci červenou LED diodou, která je umístěna na servu. Lze pomocí programu získávat informace o teplotě serva, úhlu natočení, vstupním napětí a kroutícím momentu.



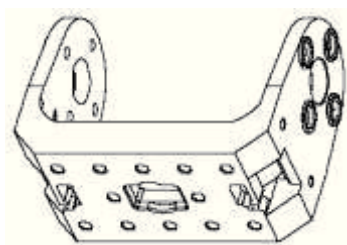
**Obrázek 9** Servo AX-12A (1)

Připojování modulů k řídicímu modulu se provádí sériově, proto každý modul obsahuje dva trojpinové konektory. V každém je vyvedeno napájecí napětí reprezentováno kladným a záporným pólem a datový pin.

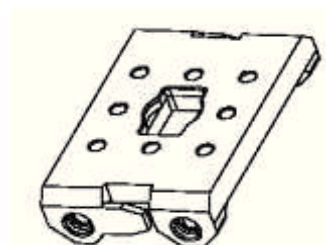


**Obrázek 10** Zapojení jednotlivých pinů (4)

Mechanické spojování jednotlivých modulů AX-12A se provádí pomocí speciálních profilů dodávaných v balení Bioloid Comprehensive Robot Kit.



**Obrázek 11** Profil k uchycení (pohyblivého) serva OF-12SH (4)

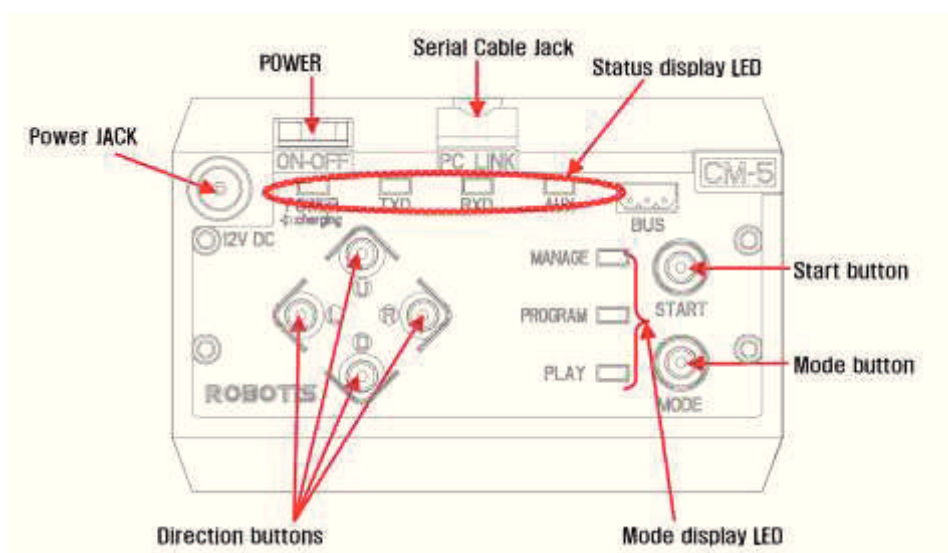


**Obrázek 12** Profil k uchycení (pevného) serva OF-12S (4)

### 7.3 Řídící jednotka CM-5

Vývojový kit Bioloid je řízen jednotkou CM-5. Na ovládacím panelu jednotky lze vidět:

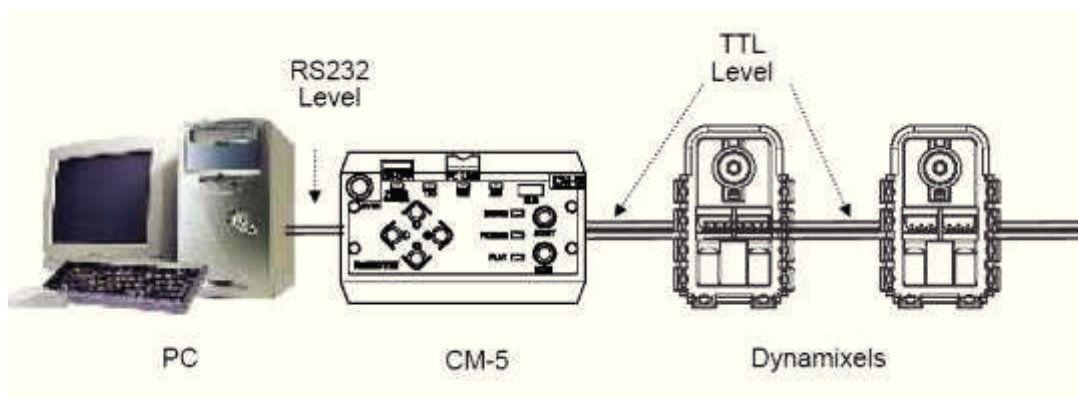
- power jack – konektor pro připojení nabíjení
- power – vypínač pro zapnutí/vypnutí
- serial cable jack – konektor pro programování sériovou linkou
- status display LED – power – signalizuje zapnutí
- TXD – signalizuje odesílání dat
- RXD – signalizuje přijímání dat
- AUX – LED pro libovolné využití programátorem
- direction buttons – tlačítka pro libovolné využití programátorem
- start button – tlačítko pro spuštění nahraného programu
- mode button – slouží ke zvolení módu



Obrázek 13 Řídící jednotka CM-5(4)

Na dalším obrázku je popsáno vzájemné propojení počítače, řídící jednotky a inteligentních servomechanismů.





**Obrázek 14** *Vzájemné propojení PC, CM-5 a AX-12A (4)*

Komunikační linka mezi PC a CM-5 je standardní RS232, používaná v běžných počítačích, například pro připojení myši. Komunikace mezi CM-5 a Dynamixels je zajištěna pomocí polo duplexní linky UART (RS-485 half duplex) .

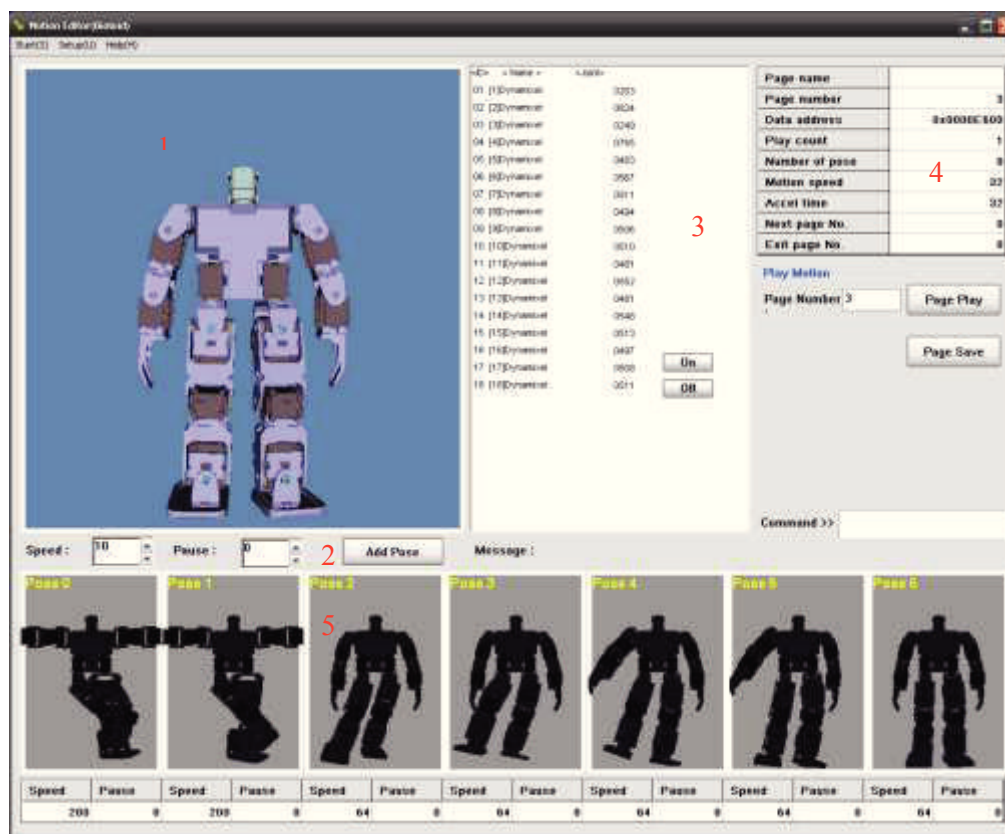
## 8. Software

K robotu bioloid jsou dodávány volně stažitelné programy. Lze si je stáhnout v: (1).

- Motion editor
- Behavior control programmer
- Robot terminál

### 8.1 Motion editor

V tomto programu lze robot bioloid programovat v 3D vizualizačním prostředí. Máme možnost nastavovat jednotlivá serva obsažená v robotu buď zadáváním číselné konstanty nebo zjištěním natočení serva. Program komunikuje pouze s MCU uvnitř CM-5, díky tomu lze tvořit řídicí sekvenci pouze s připojeným modulem. K připojení dochází automaticky při spouštění programu.



**Obrázek 15** Prostředí Motion Editoru

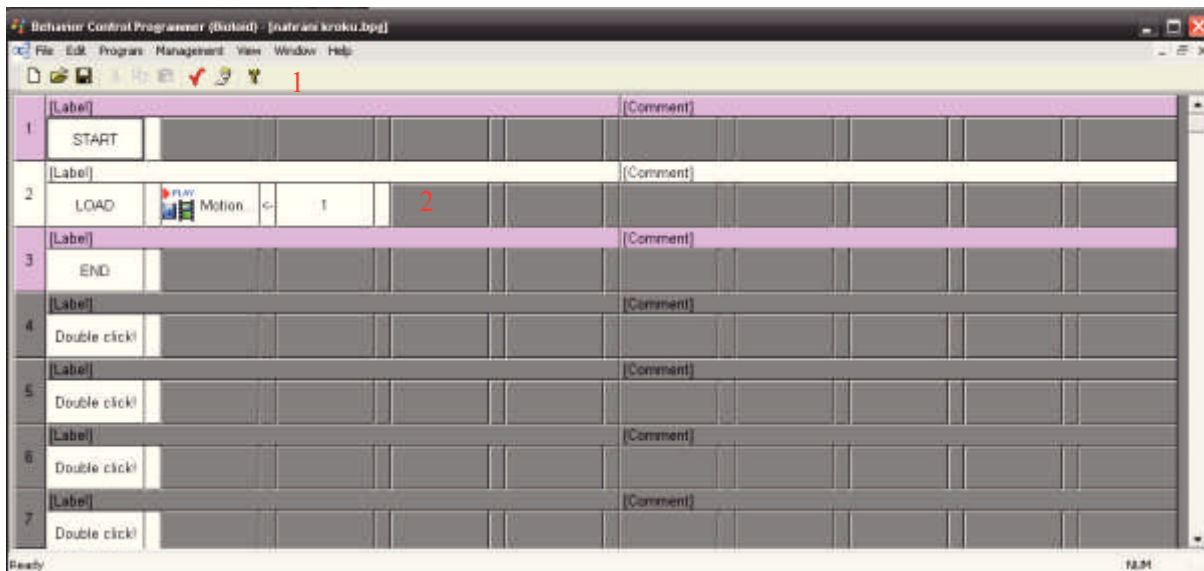
- 1) Vizualizace robotu bioloid, aktuální nastavení serv.
- 2) Ovládací lišta. Vlevo se nastavuje rychlost pohybu, pauza mezi jednotlivými sekvencemi. Tlačítko Add pose přidá další snímek do sekvence. Vpravo je konzole pro vkládání příkazu pro ovládání programu.
- 3) Pole se servy v konstrukci. V každém řádku je obsažena adresa serva, název serva a aktuální poloha. Při rozkliknutí polohy lze každé servo nastavovat zvlášť. Tlačítka On/Off slouží k vypnutí / zapnutí napájení serv pro snazší nastavení polohy.
- 4) K vytvoření rozsáhlejší sekvence slouží toto pole. Každá sekvence se skládá ze stránek, každá stránka může mít až 7 po sobě jdoucích pohybů.
  - page name – lze zde nastavit jméno stránky
  - page number – zvolí stránku ( při rozkliknutí).
  - data address – adresa, kde je stránka uložena v paměti robotu
  - play count – počet opakování dané stránky
  - number of pose – počet pohybů na stránce
  - motion speed – rychlost pohybu
  - accel time – čas, jak dlouho se bude provádět daná stránka
  - next page No. – číslo stránky, která bude následovat
  - exit page No. – číslo stránky, která se provede jako poslední
  - spodní dvě tlačítka slouží ke spouštění sekvence a uložení stránky

Díky posledním dvěma možnostem nastavení lze docílit nekonečné smyčky opakování.

5) Zobrazené jednotlivé pohyby, jak budou následovat za sebou.

## 8.2 Behavior control programmer

Programovací prostředí pro vytváření programu pomocí předpřipravených funkcí. Snadno lze vytvořit složitý a větvený program s využitím veškerých možností, které stavebnice nabízí (Vstupy, zpětná vazba z inteligentních servomechanismů, audio výstup...).



Obrázek 16 Behavior Control Programmer

- 1) Menu – nový program, otevřít stávající, uložit, vystříhnout, zkopírovat, vložit, zkontrolovat program, nahrát a spustit program, informace o verzi programu.
- 2) Prostor pro samotný program (program pro spuštění nastavené sekvence).

## 8.3 Robot terminál

Verze konzolového přístupu k programu a periferiím robotu Bioid. Prostřednictvím jednoduchých příkazů lze získat informace např. o všech servech, senzorech připojených k CM-5 a informace o stránkách nahraných pomocí Motion editoru.

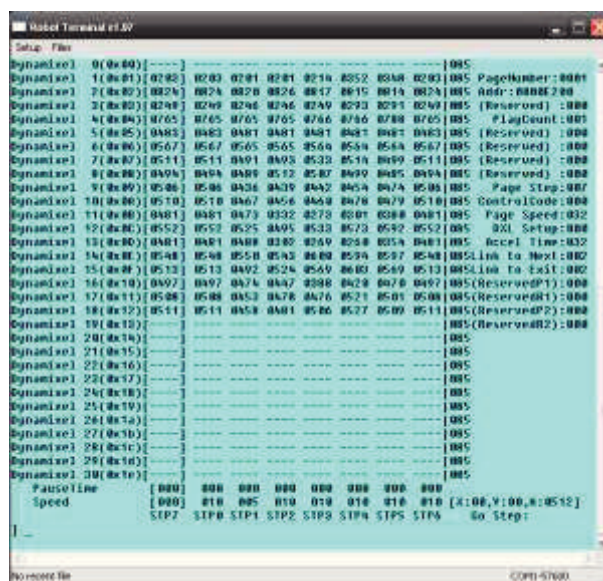
Příklad příkazu:

Scan – vypíše připojené periferie

New – vymaže všechny informace z určité stránky

Dump – vypíše tabulku všech možných měřitelných hodnot

Další příkazy lze nalézt v manuálu pro Bioid Comprehensive Robot Kit.



Obrázek 17 Robot terminál

### 8.3.1 Postup vytváření programu pro pohyb

- 1) V programu Motion Editor se vytvoří stránka, na které bude část pohybu, který je tvořen.
  - Lze jej vytvořit přímým zadáváním hodnot pro serva v programu.
  - Lze serva uvést do stavu offline a nastavit serva fyzicky do požadované polohy.
- 2) Postup vytvoření programu v Behavior control programmer – program.
  - Vytvoří se nový projekt.
  - Do prvního řádku se dvojklikem vloží START.
  - Do druhého se vloží dvojklikem LOAD.
  - Objeví se dvě nedefinované pole, první rozklikneme a vybereme CM-5, z následující nabídky motion play page.
  - Další pole se po rozkliknutí nastaví na Typing. Vypíše se číslo stránky, která má být spuštěna po zapnutí robotu.
  - Do třetího řádku se dvojklikem vloží END.
  - Nahoře je nutné zkontrolovat program tlačítkem s červenou fajfkou.
  - Poté bude program nahrán do CM-5 a spuštěn.

## 9. Herní aplikace fotbal robotů

Při hře football robotu jsou nejčastěji využité následující pohyby:

- chůze vpřed - začíná levou nebo pravou nohou
- chůze vzad - začíná levou nebo pravou nohou
- úkrok na levou stranu
- úkrok na pravou stranu
- otočení doleva
- otočení doprava

Pohyby pro práci s míčem

- přihrávání míče
- výkop míče
- posunutí míče

Při nehodě může dojít k nečekaným polohám robotu:

- pád dopředu
- pád dozadu
- pád na bok
- pád na jiného robota

### 9.1 Chůze vpřed

Chůze vpřed, je pravděpodobně nejčastější pohyb, který může být použit při hře. Rychlost jednotlivých částí sekvence byla nastavena u všech na stejnou hodnotu 15 a zpoždění mezi nimi na hodnotu 0. Rychlost tak byla nastavena pro názornost jednotlivých částí pohybu. Každá stránka obsahuje jeden krok, rozdíl je pouze v tom, kterou nohou robot začíná. Obsahují následující sekvenci pohybů:

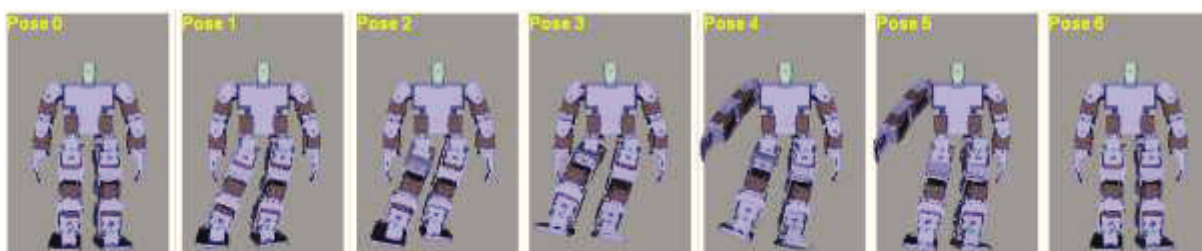
První stránka:

- vyrovnění robota do vzpřímené polohy
- přenesení váhy na levou nohu
- vysunutí pravé nohy dopředu
- přenesení váhy na pravou nohu
- naklonění na pravou stranu, odlehčení levé nohy
- přisunutí levé nohy k pravé
- vyrovnění robota do vzpřímené polohy

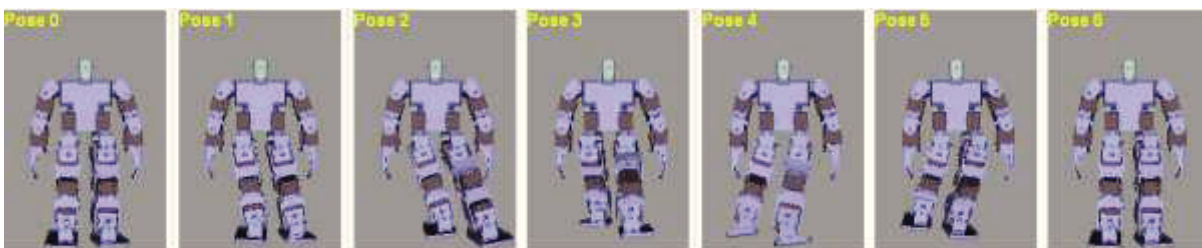
Druhá stránka:

- vyrovnění robota do vzpřímené polohy
- přenesení váhy na pravou nohu

- vysunutí levé nohy dopředu
- přenesení váhy na levou nohu
- naklonění na levou stranu, odlehčení pravé nohy
- přisunutí pravé nohy k levé
- vyrovnání robotu do vzpřímené polohy



**Obrázek 18** Krok vpřed, robot začíná pravou nohou



**Obrázek 19** Krok vpřed, robot začíná levou nohou

Jednotlivé kroky byly málo stabilní, proto při dalším pokusu byla přilepena na spodní část chodidel speciální protiskluzová guma. Stabilita chůze se zvýšila, ale díky gumě bylo nutné předělat celý algoritmus. Po přilepení protiskluzové vrstvy došlo ke snížení mezery mezi nášlapnou hranou a podložkou, při původním algoritmu byl pohyb nášlapné desky nad podložkou velmi těsný, proto vrstva navíc způsobovala zadrhávání.



## 9.2 Výkop míče

Pro pohyb při výkopu byla zvolena pravá noha. Sekvence začíná podobně jako při kroku vpřed, ale je zakončena rychlým pohybem v kolenní. Rychlost prvních čtyř částí sekvence byla opět nastavena na 15, poslední byla nastavena na 60 z důvodu razance výkopu. Zpoždění bylo opět nastaveno na hodnotu 0.

- vyrovnaní robotu do vzpřímené polohy
- přenesení váhy na levou nohu
- zvednutí pravé nohy co nejbližší k pánvi
- rychlé narovnání nohy v kolenní



Obrázek 20 Výkop, robot začíná pravou nohou

## 9.3 Zvednutí robota po pádu na záda

Při kolizi více robotů nebo neočekávané situaci může nastat, že robot upadne na zem a nebude schopen pokračovat v předešlé činnosti. Byl zvolen algoritmus pro zvednutí robota po pádu na záda. Při sekvenci na zvednutí robotu do vzpřímené polohy je program následující:

- robot podsune ruce pod trup
- narovná ruce a nadzvedne trup
- pokrčí nohy do dřepu
- přenesení váhy na nášlapné plochy
- vyrovná se opět do vzpřímené polohy



Obrázek 21 Sekvence pro zvednutí robota

## 9.4 Úkrok na stranu

Úkrok stranou může být vhodné použít při funkci robotu jako brankáře. Robot detekuje pomocí hracího algoritmu pravou stranu, protože na levou stranu je pohyb identický.

- přenesení váhy na levou nohu
- odsunutí pravé nohy
- přenesení váhy na pravou nohu
- nadlehčení levé hony
- přisunutí levé nohy



Obrázek 22 Úkrok stranou

Při samotné aplikaci dílčích pohybů by se vytvořil hlavní program v Behavior control programmer. V programu se v závislosti na senzorech a strategii budou spouštět jednotlivé naprogramované pohyby.

## 9.5 Seskupení pohybů

Realizace jednoduchého autonomního seskupení byla provedena pro jednoduchost pomocí Motion editor. Na první stránce, která se spustí, je krok vpřed, kdy robot začíná pravou nohou.

Page name	PRAVA
Page number	1
Data address	0x0000E200
Play count	2
Number of pose	7
Motion speed	10
Accel time	32
Next page No.	4
Exit page No.	4

Obrázek 23 nastavení první stránky

- opakování je nastavené na 2 – robot udělá dva kroky vpřed
- následující stránka je nastavena na 4 – umístění sekvence s výkopem míče
- poslední stránka je nastavena na 4 – poslední sekvence, která se má vykonat



## **Závěr**

V práci jsem se seznámil s problematikou lidské chůze, kde jsem zjistil, že pro správné provádění pohybu robotu je užitečné znát pojem těžiště a dokázat s ním pracovat. Z anatomie člověka vyplývá mechanická konstrukce robotu Bioloid, hlavně složení dolních končetin. Místo svalové hmoty a šlach jsou na robotu umístěny inteligentní servomechanismy, kterými lze řídit všechny pohyby a jejich dynamiku. Také jsem se seznámil s technologií mocap pro vytváření počítačového modelu mechatronického systému. Technologie mocap je perspektivní při přenášení pohybu z lidského vzoru na robota humanoidního typu.

Při sestavování robotické postavy z komponent stavebnice z originálních dílů jsem se nesetkal s žádným problémem. Po sestavení jsem ale zjistil, že konstrukce z plastových dílů je poměrně málo tuhá, díky čemuž při jednotlivých pohybových sekvencích vznikají nepřesnosti a může docházet k nestabilním polohám, které se velmi špatně ošetřují, a mohou vést k pádu. Při delším provozování robotu s řídicí jednotkou CM-5 jsem došel k závěru, že není vhodná pro zvolenou herní aplikaci. Řídicí jednotka CM-5 neobsahuje žádný senzor, pomocí něhož by se dalo zjistit, zda robot upadl. Senzorový modul obsahuje infračervené senzory a potencionálně by se s nimi dalo zjistit, zda robot upadl, po detekci spustit danou sekvenci pro zvednutí robotu. Problém by však nastal, přiblížil-li by se robot ke zdi nebo k jiné překážce. Po detekci překážky by nedokázal rozlišit, jestli leží nebo stojí u překážky.

Při programování robotu jsem se často setkával s nestabilitou propojení robotu s počítačem. Komunikace byla zajištěna pomocí převodníku USB-RS232. Po připojení na daný COM port se chvíli robot choval bezchybně, ale po delší době se objevovaly chyby ve vykonávání příkazů nebo příkazy nebyly provedeny vůbec. Problémy s komunikací by měly pominout s použitím nové řídicí jednotky CM-530, která obsahuje moderní procesor 32 bit Arm Cortex M3 s integrovaným USB a gyro senzorem pro zaznamenávání polohy.

Při analýze fotbalu robotu jsem vycházel z běžné hry. Z velkého množství různých pohybů jsem vybral z každé skupiny jeden jako vzorový. Ostatní pohyby jsou jen jejich variace. Jako první pohyb jsem zpracovával chůzi vpřed. Považoval jsem ji za základní pohyb. Dalšími pohyby jsou výkop míče, zvednutí robotu po pádu a útok stranou. Jako seskupení pohybů byla zvolena kombinace chůze vpřed a výkopu míče.

Mé další plány s robotem Bioloid zahrnují zakoupení nové řídicí jednotky CM-530 schopné komunikovat přes USB nebo bezdrátově. Díky gyro senzoru by měla být možná detekce polohy. Dalším cílem je pokusit se realizovat ovládání robotu pomocí technologie mocap a učit robota jak se má správně pohybovat.

## Seznam použité literatury

- (1) *Bioloid Comprehensive Robot Kit* [online]. © 2006 [cit. 2013-10-01]. Dostupné z: <http://www.trossenrobotics.com/bioloid-comprehensive-robot-kit.aspx>
- (2) Řízení serva. WINKLER, Zbyněk. *Robotika.cz* [online]. 2005-01-24 [cit. 2013-09-30]. Dostupné z: <http://robotika.cz/guide/servo/cs>
- (3) Servo motor. *Pohonnatechnika.cz* [online]. [cit. 2013-10-01]. Dostupné z: <http://www.pohonnatechnika.cz/skola/motory/servo-motor>
- (4) *CrustCrawler Robotics: The worlds leader in providing cutting edge Robotics kits: Robotic Arms: ROV/AUV Thrusters: Bioloids: and Servos* [online]. © 2002-2011 [cit. 2013-10-01]. Dostupné z: <http://www.crustcrawler.com/products/bioloid/>
- (5) The Robots of Westinghouse. *History of Computers: Computing and Internet* [online]. [cit. 2013-11-07]. Dostupné z: <http://history-computer.com/Dreamers/Elektro.html>
- (6) The History of Walking Robots: Running Community. *Best Running Tips, Races & Routes for Runners World Wide: Run The Planet* [online]. © 2010 [cit. 2013-11-07]. Dostupné z: <http://www.runthepplanet.com/resources/historical/walkingrobots.asp>
- (7) Shigeo Hirose: ROBOT GALLERIES. *Shigeo Hirose: ROBOT GALLERIES* [online]. © 2013 [cit. 2013-11-07]. Dostupné z: [http://www-robot.mes.titech.ac.jp/hirose/robot/walking/titan4/titan4\\_e.html](http://www-robot.mes.titech.ac.jp/hirose/robot/walking/titan4/titan4_e.html)
- (8) RB5X Robot: The Old Robot's Web Site. *Robots: The Old Robots Web Site* [online]. 1-10-2008 [cit. 2013-11-07]. Dostupné z: <http://www.theoldrobots.com/rb5x.html>
- (9) Historical Android Projects. *Android World: anthropomorphic robots & animatronics* [online]. [cit. 2013-11-07]. Dostupné z: <http://www.androidworld.com/prod06.htm>
- (10) TORO- German's Best Humanoid Robot: Robots Insider. *Robots Insider* [online]. © 2013 [cit. 2013-11-07]. Dostupné z: <http://robotsinsider.com/toro-germans-best-humaniod-robot/>
- (11) Boston Dynamics: Atlas - The Agile Anthropomorphic Robot. *Boston Dynamics* [online]. ©2013 [cit. 2013-11-07]. Dostupné z: [http://www.bostondynamics.com/robot\\_Atlas.html](http://www.bostondynamics.com/robot_Atlas.html)
- (12) *KIBO ROBOT PROJECT* [online]. © 2013 [cit. 2013-11-07]. Dostupné z: <http://kibo-robo.jp/en/project/>
- (13) RoboCup: About RoboCup &laquo. *RoboCup* [online]. © 1998-2013 [cit. 2013-11-07]. Dostupné z: <http://www.robocup.org/about-robocup/>
- (14) FIRA. [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: [http://www.fira.net/contents/sub01/sub01\\_1.asp](http://www.fira.net/contents/sub01/sub01_1.asp)
- (15) Xiaoping, Ch. a kol: RoboCup 2012. Lecture notes in artificial intelligence. Springer Verlag, Berlin 2013, EAN 9783642392498
- (16) Kitagawa, M., Windsor, B.: MoCap for artists. Elsevier Science and technology, 2008 ISBN 0240810007
- (17) Robotis: Bioloid - user guide. Robotis, 2006
- (18) KÁRNÍK, Ladislav. *Biorobotika*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007, 1 CD-ROM. ISBN 978-80-248-1646-3.
- (19) *Základy sportovní kineziologie: Fakulta sportovních studií* [online]. 2010 [cit. 2013-12-27]. Dostupné z: [http://is.muni.cz/do/1451/e-learning/kineziologie/elportal/pages/segmenty\\_teziste.html](http://is.muni.cz/do/1451/e-learning/kineziologie/elportal/pages/segmenty_teziste.html)
- (20) STANTON, Christopher, Anton BOGDANOVYCH a Edward RATANASENA. Teleoperation of a humanoid robot using full-body motion capture, example movements, and machine learning. *Teleoperation of a humanoid robot using full-body motion capture, example movements, and machine learning*. 2012, s. 10. Dostupné z: [http://staff.scm.uws.edu.au/~anton/Publications/acra\\_2012.pdf](http://staff.scm.uws.edu.au/~anton/Publications/acra_2012.pdf)
- (21) *ROBOTIS* [online]. [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: [http://www.robotis.com/x/bioloid\\_en](http://www.robotis.com/x/bioloid_en)

- (22) *Robotické stavebnice: poskytovatel nejmodernější technologie* [online]. [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://www.robotobchod.cz/110-roboticke-stavebnice>
- (23) *Robots to Build & Experiment - RobotShop* [online]. [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://www.robotshop.com/ca/en/robots-to-build.html>
- (24) *Tiny Wave - \$0.00: Bizoner.com, Open Hardware Online Shop, Arduino Boards, Shield, Robot Arm, 4WD Chassis Platform, Robotics Kit, Sensors, Robot, Alumin Hexapod Spider 3DOF Robot* [online]. [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://www.bizoner.com/tiny-wave-p-369.html?zenid=do76qkpak0o0fbbf99cvj77mt5>
- (25) Honda: Asimo. [online]. [cit. 2014-04-30]. Dostupné z: <http://www.honda.co.jp/ASIMO/history/asimo/index.html>
- (26) *VNL.XF.CZ - Anatomie: Kosti dolní končetiny* [online]. 29.3.2006 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: [http://vnl.xf.cz/ant/10-kosti\\_dk.php](http://vnl.xf.cz/ant/10-kosti_dk.php)
- (27) FUCHSOVÁ, Jitka. PŘEHLED SVALOVÝCH SKUPIN. Únor 2010, s. 21. Dostupné z: [http://www.szsmb.cz/admin/upload/sekce\\_materialy/Svalové\\_skupiny.pdf](http://www.szsmb.cz/admin/upload/sekce_materialy/Svalové_skupiny.pdf)

## **Obsah CD**

Součástí práce je CD obsahující video robotu Bioloid






- Video

## **Seznam příloh:**






I.	Tabulka porovnání robotů.....	i
II.	Fotografie robotu.....	v






## I. Tabulka porovnání robotů

**Tabulka 2** *porovnání chodících robotů*

Název Robotu	Obrázek	Řídící jednotka	pohon	senzory	S/W	napájení	využití	Cena[Kč]
Tiny Wave (24)		Tinywave robo-life Controller	DYNAMIXEL AX-12+ 16 ea	x	Robo-life PS2 CON Ver 1.0 RSA	x	vzdělání	x
Biped BRAT (no electronics) 485 Servo (23)		PC, Bot board II - Atom pro	HS-422	senzor čáry, IR	RIOS-02	6.0 Volt Ni-MH 1600mAh Baterie	k dispozici pro využití vlastní elektroniky	4 523,-
Cytron Biped Walking Robot (with Electronics) (23)		Cytron SC16A (PIC16F876A)	Cytron C40R		(MPLAB IDE)	Fast Blow Fuse 20mm (3A)	open source	6 130,-
Bioid Beginner (24)		CM-5 Atmega 128 – 8bit MCU	DYNAMIXEL AX-12A : 4EA	DYNAMIXEL AX-S1	BIOLOID SOFTWARE	NIMH 9.6V baterie SMPS 12V 5A	vzdělání	6 865,90,-
RoboBrothers RoboPhilo Humanoid Robot Kit (23)		real-time IR dálkové ovládání pohybů	SV 4032 (4.1Kg-cm), SV 4104 (6.5Kg-cm), SV 2030 (1.3Kg-cm)		Robogames 2012, RoboPhilo Software Development Kit	6V 700mAh NiMH baterie	zábava	8 589,-

LEGO MindStorms NXT 2.0 (22)		NXT (32bit MCU)	Interaktivní servomotor	ultrazvuk, zvuk, IR, dotyk, kompas, akcelerometr, RF ID	MINDSTORMS SOFTWARE	6 x AA baterie	zábava, vzdělání	9 074,-
HOVIS Lite Humanoid Robot (US Plug) (23)		Atmega 128 MCU	DRS-0201 (24Kgf.cm)	Senzor vzdálenosti, Giro	DR-Sim (3D Simulator) - DR-Visual Logic (Task Editor)	7.4V 2800mA Li- Po baterie	zábava, vzdělání	14 918,-
Robobuilder 5720T- A03/ 5710K-S03 (22)		RBC inteligentní řídící systém (ATmega128 mcu)	16 DOF WC- (wCK-1108T, wCK-1111T)	IR čidlo, akcelerometr,	Microsoft Robotics Development Studio, MotionBuilder, ActionBuilder	8.4V Ni-MH materie	zábava, vzdělání	16 033,-
Bioloid Comprehensive (24)		CM-5 Atmega 128 – 8bit MCU	DYNAMIXEL AX-12A : 18EA	DYNAMIXEL AX-S1	BIOLOID SOFTWARE	NIMH 9.6V baterie SMPS 12V 5A	Zábava, univerzitní vzdělání	17 686,-
Robonova 1 (22)		ATMega 128L(8x64kB)	HSR-8498HB	dálkoměr, sonar, teplotní senzory, gyro, RC přijímač	Robo-Basic, Robo-Script	6V (NiMH, 1000mAh) baterie	zábava, vzdělání	18 140,-
HOVIS Eco Humanoid Robot (23)		Atmega 128 MCU	HerkuleX DRS-0101	PSD senzor,IR přijímač, Gyro	DR-Sim (3D Motion Simulator), DS- Visual Logic (Graphical Editor úloh)...	7.4V 3000mA Li- Po baterie	od začátečníků až po experty	20 207,-

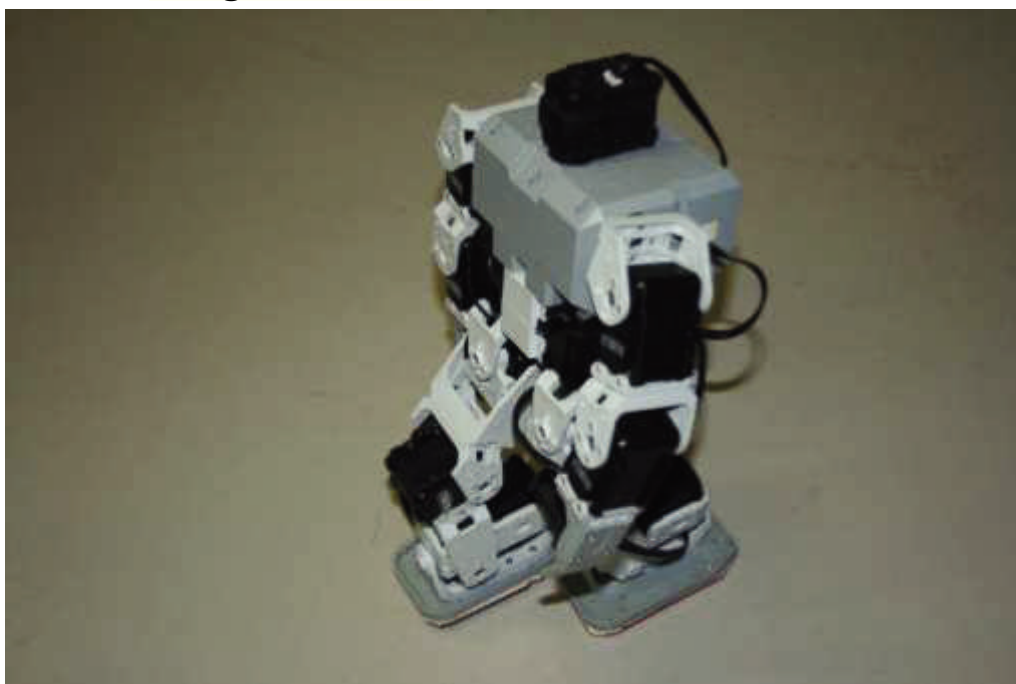
Bioid Premium (24)		CM-530	DYNAMIXEL AX-12A : 18EA	GYRO, DMS, IR	RoboPlus	LIPO 11.1V baterie SMPS 12V 5A	Univerzitní Vzdělání, Hospodářská soutěž, Zábava	23 587,-
Kondo KHR-2HV (22)		RCB-3J	KRS-788HV	PSD senzor, USTX- 1, USRX-1,	Heart to Heart 3.0	NIMH 10.88V 300 mAh	Pro začátečníky, pedagogy	29 800,-
Kumotek KT-X Standard Bipedal Robot kit (23)		H8 -- 60MHz HV processor with 512kB ROM / 64kB RAM	VS-S092J	akcelerometr, gyro	RobovieMaker	x	Roboti pro absolventy a výzkum	37 026,-
Kondo KHR-3HV (22)		RCB-4HV	KRS - 2555HV (17 serv + 5 fiktivních)	PSD senzor, USTX- 1, USRX-1,	Heart to Heart 4.0	NIMH 10.8V 800 mAh	Pro začátečníky, pedagogy	39 641,-
Kyosho Manoi AT01 (22)		RCB-3	KRS-4024S HV	HRP100 vzdálenostní, dotykové, směrové senzory, senzor světla, gyro	Heart to Heart 3.0	Nickel Hybrid baterie 300mAh	nadšence a výzkumníky	48 681,-

Manoi AT01 Humanoid Robot (Type C Body) (23)		RCB-3	KRS-4024S HV	HRP100 vzdálenostní, dotykové, směrové senzory, senzor světél, gyro	Heart to Heart 3.0	Níkl Hybridní baterie 300mAh	Athletic Cup	50 617,-
Bioloid GP (24) <b>Chyba! nenalezen zdroj odkazů.</b>		CM-530	DYNAMIXEL AX-12A : 6EA(Upper Body)+ 2EA(Gripper) AX-18A : 10EA(Lower Body)	GYRO, DMS	RoboPlus	LIPO 11.1V Battery Set SMPS 12V 5A	Školní Soutěž , Zábava	55 064,-
Kyosho Manoi PF01 (22)		RCB-3	KRS - 4024S VN	HRP100 vzdálenostní, dotykové, směrové senzory, senzor světél, gyro	Heart to Heart 3.0	3x LIPO	naděšence a výzkumníky	62 590,-
ROBOTIS DARwIn-OP Advanced Humanoid Robot Deluxe Edition (US) (23)		CM-730 (ARM CortexM3 STM32F103RE 72MHz)	DYNAMIXEL MX-28	3-osé gyro, 3-osý akcelerometr, 3 krát tlačítko, 2x mikrofon	RoboPlus Task, Manager,  Motion, Terminal, Dynamixel Wizard	x	Roboti pro absolventy a výzkum	245 169,-
Aldebaran Robotics Nao H25 Humanoid Robot Academic Edition (23)		Intel ATOM 1,6 GHz CPU – V hlavě(Linux), Druhé CPU v hrudníku	x	2x kamera, Hmatové senzory a Sonarový Dálkoměr, čtyři mikrofony	NAOqi,NAO software	6 Wh baterie	Roboti pro absolventy a výzkum	326 859,-

Ceny jsou uvedeny k 9. 5. 2013 podle aktuálního kurzu.



## II. Fotografie robotu



**Obrázek 24** Robot zachycený při chůzi vpřed



**Obrázek 25** Robot v základní poloze s pokrčenými koleny připraven udělat krok